

# **CARACTERIZACIÓN DEL MONZÓN Y SU INFLUENCIA EN LA PRECIPITACIÓN EN EL OCCIDENTE DE COLOMBIA**

## ***CHARACTERIZATION OF THE MONSOON AND ITS INFLUENCE ON THE PRECIPITATION IN WESTERN COLOMBIA***

Reiner PALOMINO LEMUS<sup>1</sup>, Samir CÓRDOBA MACHADO<sup>1</sup>, Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS<sup>1</sup>, Yolanda CASTRO-DÍEZ<sup>1</sup>, María Jesús ESTEBAN-PARRA<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Depto. de Física Aplicada. Universidad de Granada*

cmaxtor@gmail.com, samostv@gmail.com, srgamiz@ugr.es, ycastro@ugr.es, esteban@ugr.es

### **RESUMEN**

Se analizan las principales características del Monzón del Oeste de América ecuatorial (MOAE) como componente importante del sistema climático que afecta a la costa pacífica colombiana. Se ha delimitado objetivamente el MOAE, cuantificando su variabilidad mediante el índice dinámico normalizado estacional (DNS), obtenido a partir de datos de viento procedentes del NCEP. Se ha encontrado que las variaciones más significativas en los regímenes de rotación entre los vectores del viento de DEF y JJA se enmarcan dentro de la categoría de monzón para los niveles inferiores de presión, con variaciones en el ángulo del vector viento superiores a 120°. Además el DNS identifica cambios estacionales significativos en el campo de viento, que se enmarcan dentro de la categoría de clima monzónico.

Por último, al relacionar el DNS en 850 hPa y 925 hPa, con la precipitación se ha encontrado que el monzón exhibe fuertes características regionales, coherentes con los patrones regionales de la precipitación estacional, afectando de manera considerable a la variabilidad anual e interanual de las lluvias en la región del Pacífico Colombiano.

**Palabras clave:** Monzón del Oeste de América Ecuatorial, Índice Dinámico Normalizado de Estacionalidad, Región monzónica, Pacífico Colombiano, Precipitación.

### **ABSTRACT**

This paper analyzes the main features of the West Equatorial America Monsoon (MOAE) as an important component of the climate system that affects the Pacific coast of Colombia. MOAE has been objectively identified quantifying its variability through the Dynamical Normalized Seasonality (DNS) index, obtained using wind data from NCEP. It has been found that the most significant variations in rotation regimes between the JJA and DEF wind vectors, fall into the category of monsoon for the lower levels of atmospheric pressure, with variations in the wind vector angle over 120°. In addition, the DNS identifies significant seasonal changes in the wind field, which are within the category of climatic monsoon. Finally, by relating the DNS at 850 hPa and 925 hPa with precipitation, it has been found that the monsoon exhibits strong regional characteristics, consistent with regional patterns of seasonal rainfall, affecting significantly to the annual and interannual variability of rainfall in the Colombian Pacific region.

**Key words:** West Equatorial America monsoon, Dynamical normalized seasonality, Monsoon region, Colombian Pacific, Rainfall.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Monzón del Oeste de América ecuatorial (MOAE), es un componente muy importante del sistema climático regional, que induce comportamientos asociados a ciclos intranuales, anuales, estacionales, e interanuales en la precipitación en el Pacífico colombiano. Esta zona es particularmente sensible a cambios en las variaciones del clima, siendo uno de los lugares donde se registran los mayores índices de diversidad biológica del planeta (Herrera y Walschburger, 1999), pudiendo atribuirle la rica gama de especies animales y vegetales a la alta pluviosidad que caracteriza esta región, reconocida como una de las más lluviosas del mundo (Pabón, 2003; Pabón *et al.*, 2010; Poveda *et al.*, 2004; Eslava, 1994; Mesa *et al.*, 1997). Sus características climáticas y orografía ocasionan altísimas precipitaciones convectivas que superan los 8.000 mm anuales en la mayor parte del territorio, que se encuentra bajo la categoría de clima de bosque tropical lluvioso de selva (Afi) o tropical monzónico (Am) en la clasificación de Köppen (Eslava, 1994).

Los sistemas meteorológicos asociados a la variabilidad del monzón se manifiestan en diferentes escalas espaciales y temporales, las cuales están determinadas por las condiciones de contorno de variación lenta de los océanos y de la tierra subyacente (Charney y Shukla, 1981). Tal vez, el principal factor de impacto es la temperatura superficial del mar. Muchos estudios han tratado de explicar cómo la temperatura superficial del mar modula la variabilidad del monzón (Chao, 2000; Chen y Chao, 2001a, 2001b, 2003; Wallace y Hobbs, 1977; Holton, 1992; Webster *et al.*, 1998). Sin embargo, debido a la complejidad de los sistemas, esta modulación aún no se conoce en detalle. La variabilidad de los sistemas monzónicos en diferentes escalas de tiempo puede ocasionar diversos impactos socio-económicos en las regiones donde se presentan. Así, fenómenos climáticos extremos, como precipitaciones extremas, inundaciones y sequías, tienen un impacto directo sobre la producción agrícola y los medios de subsistencia. Además, también afecta a la gestión de los recursos hídricos, que está directamente relacionada con problemas de salud de la sociedad y con la generación de electricidad a través de centrales hidroeléctricas.

Dada la importancia que este sistema de circulación atmosférica presenta en esta región, junto con la escasez de trabajos de investigación sobre el tema y la necesidad de tener un conocimiento más profundo sobre los procesos atmosféricos y climáticos en el Pacífico colombiano, se ha planteado en este trabajo el estudio de los mecanismos regionales de variabilidad asociados al monzón, con el objetivo de obtener sus patrones espaciales y temporales. Esto permitirá aclarar aspectos de la circulación atmosférica regional que no han sido explicados hasta el momento.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo, se ha tomado como área de estudio la zona occidental de América ecuatorial, y dentro de ella, el Pacífico colombiano, comprendida por las tierras bajas de la costa Pacífica y el Darién en Panamá, delimitada principalmente por los paralelos 5°S - 20°N latitudinalmente, y entre los 130°O - 60°O longitudinalmente. A partir de los datos procedentes del NCEP/NCAR Reanalysis en diferentes niveles de presión, se ha llevado a cabo la caracterización del MOAE y sus impactos en la precipitación. Para ello, en primer lugar, se han identificado las zonas donde se presentan cambios significativos en los campos de la dirección del viento, con el propósito de hacer una primera delimitación objetiva del mismo. A continuación, se ha analizado la distribución espacial del régimen de rotación estacional del vector viento para posteriormente calcular el índice dinámico normalizado de estacionalidad (DNS).

Para el cálculo de los cambios significativos en la dirección del viento, se ha utilizado la expresión:

$$(1) \quad \gamma_i = \gamma(V_i, V_j) = \arccos\left(\frac{(V_i, V_j)}{|V_i||V_j|}\right)$$

para  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$  y  $j = 1, 2, 3, \dots, 12$ , donde  $V_i$  representa es el vector viento de un mes particular, y  $V_j$  es el vector viento de referencia en la misma posición. En este trabajo se elige  $V_i$  como el vector viento climatológico de los valores medios mensuales de los meses de diciembre, enero y febrero (DEF), mientras que  $V_j$  es el valor de referencia que se obtiene promediando los valores de junio, julio y agosto (JJA).  $(V_i, V_j)$  representa el producto escalar entre  $V_i$  y  $V_j$ , y indica el módulo del vector viento. Posteriormente se ha calculado el índice DNS para cada punto de rejilla

$$(2) \quad \delta_{m,n} = \frac{\|\bar{V}_1 - V_{m,n}\|}{\|\bar{V}\|} - 2$$

donde  $\bar{V}_1$  y  $\bar{V}$  son los vectores viento climatológico de enero y la media de los vectores climatológicos del viento de enero y de julio, respectivamente, y  $\bar{V}_{m,n}$  es el vector mensual del viento del año  $n$  y del mes  $m$ . La norma  $\|A\|$  se define como:

$$\|A\| = \left(\iint_S |A|^2 dS\right)^{1/2}$$

donde  $S$  denota el dominio de la integración, y se calcula para un punto  $(i, j)$  como:

$$(i, j), \|A_{i,j}\| \approx \Delta_s \left[ \left( A_{i-1,j}^2 + 4A_{i,j}^2 + A_{i+1,j}^2 \right)^{1/2} \cos \varphi_j + A_{i-1,j}^2 \cos \varphi_{j-1} + A_{i+1,j}^2 \cos \varphi_{j+1} \right]^{1/2}$$

donde  $\varphi_j$  es la latitud del punto  $(i, j)$ ,  $\Delta_s = a\Delta\varphi\Delta\lambda/4$ ;  $a$  es el radio medio de la tierra, y  $\Delta\varphi$  y  $\Delta\lambda$  (en radianes), son los incrementos angulares en las direcciones meridionales y zonales, respectivamente, dados por la resolución espacial de los datos.

Una vez calculado el índice del monzón, la regionalización se llevó a cabo utilizando la técnica de Funciones Empíricas Ortogonales (EOFs, Empirical Orthogonal Functions). A continuación, los modos de variabilidad más significativos obtenidos, se correlacionaron con la precipitación en del área de estudio.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Características del monzón del Oeste de América Ecuatorial

En la Figura 1 se presentan los patrones de distribución de los ángulos absolutos entre los vectores del viento predominante entre verano e invierno, en cuatro niveles de presión (1000, 925, 850 y 700 hPa), para el periodo 1948-2010 calculados de acuerdo con la ecuación (1). Se encuentra que las variaciones más significativas de los campos de rotación entre los vectores del viento de DEF y JJA se enmarcan dentro de la categoría de monzón (valores superiores a  $120^\circ$ ) en los tres niveles inferiores, mientras que para el nivel de 700 hPa, los ángulos absolutos no superan los  $30^\circ$ . Por otro lado entre 1000 hPa y 925 hPa, los cambios más significativos tienden a presentar un patrón similar, mientras que en 850 hPa tienden a concentrarse sobre todo en la zona occidental de Colombia. Se confirma así que la región de estudio cumple con una de las condiciones, anteriormente expuestas, asociadas a la definición de monzón. De acuerdo con estos resultados, el DNS se ha calculado, mediante la ecuación (2), solamente en los niveles de 1000, 925 y 850 hPa. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2.

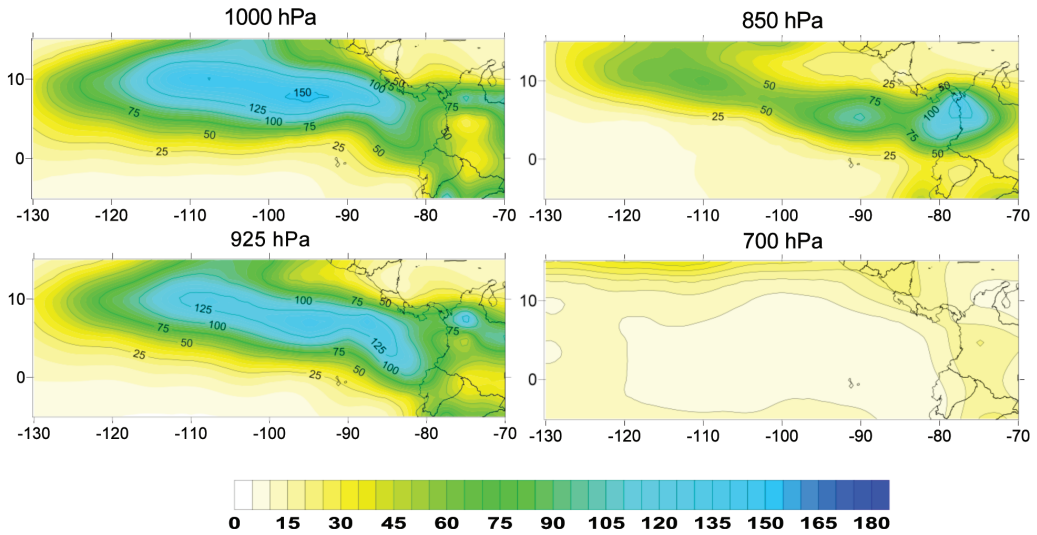


FIG. 1: *Distribución espacial de la rotación estacional del vector viento en el Oeste de América Ecuatorial en los niveles de 1000, 925, 850 y 700 hPa, para el periodo 1948-2010.*

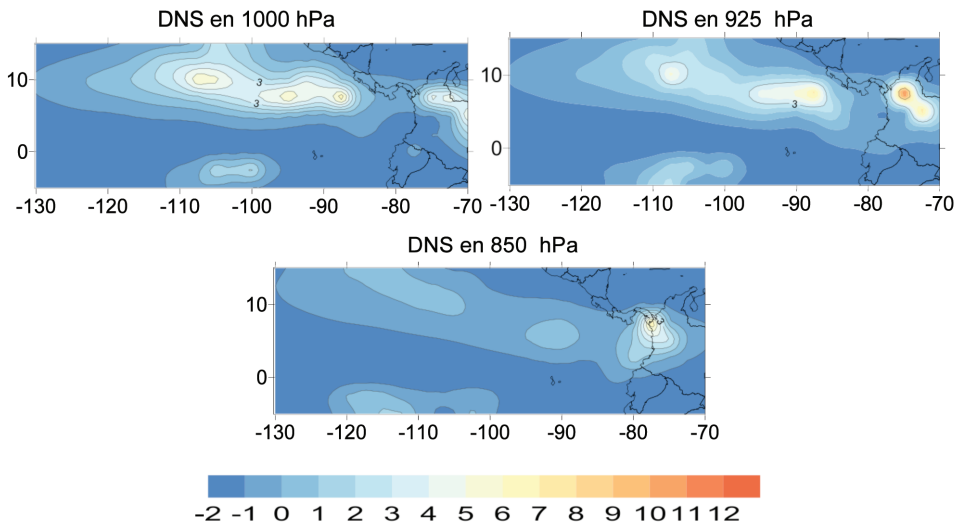


FIG. 2: *Distribución espacial del índice DNS del campo de viento en 1000 hPa, 925 hPa y 850 hPa en el periodo 1948-2010. Los valores indicativos del monzón son aquéllos superiores a 0.*

El índice DNS, además de delimitar objetivamente la distribución espacial, permite obtener una serie temporal, y por tanto, estudiar su variabilidad anual e interanual. En general, se encuentra que el índice DNS identifica claramente cambios estacionales significativos en los campos de la dirección y velocidad del viento, en el nivel de 850 hPa. En los niveles de 1000 hPa y 925 hPa, se presentan patrones similares al anterior, ubicados aproximadamente entre los 2.5° y 12° de latitud Norte, y entre los 115° y los 85° de longitud Oeste. Igualmente en los tres niveles, aparece el sistema asociado a la Baja Anclada de Panamá (BAP), particularmente evidente en el nivel de 925

hPa. Por tanto, el índice DNS identifica claramente el MOAE, situado sobre el Pacífico Ecuatorial Occidental.

### 3.2. Estructura temporal de la variabilidad del MOAE

En la Figura 3 se presenta la serie mensual del índice DNS en 925 hPa promediada para el área comprendida entre 5°N y 7.5 °N y entre 87.5°O y 95°O, en el periodo 1948-2010, con una media móvil de 12 meses para poder observar su variación interanual. Esta forma de representar el monzón de una región ha sido usada por otros autores (Webster *et al.*, 1998). La serie mensual del índice presenta un escalonamiento brusco asociado a eventos climáticos extremos, en particular en los años 1961-1962, 1964, 1970, 1998-1999 y otros de menor magnitud. Estos cambios extremos en la serie del índice DNS pueden estar relacionados con la alta dependencia del MOAE del calentamiento y enfriamiento de la superficie del mar y al fortalecimiento, debilitamiento o reubicación de la ZCIT. De hecho, todos los años citados anteriormente, se caracterizaron por fuertes eventos La Niña.

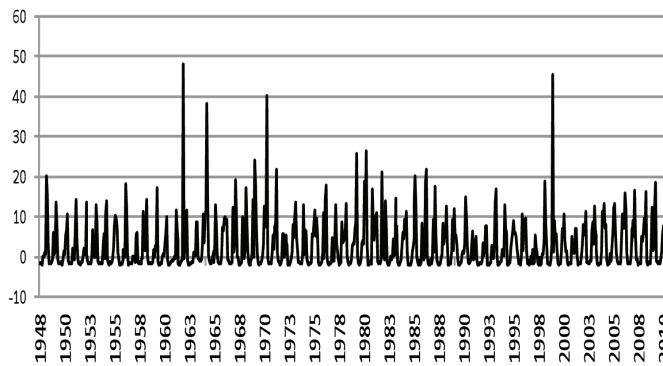


FIG. 3: Serie mensual del índice DNS en 925 hPa promediado para el área 5°N-7.5 °N, 87.5°O-95°O, en el periodo 1948-2010.

Teniendo en cuenta esta posible dependencia, se han obtenido las correlaciones entre el índice DNS considerando y distintos índices El Niño. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4, donde se observa una clara relación entre El Niño/La Niña y el monzón, pudiendo establecerse vínculos entre las variaciones interanuales en la intensidad y la posición del monzón. También, se aprecia que los mayores valores de correlación se presentan con El Niño 1+2 y El Niño 3. La correlación entre el índice DNS calculado para la zona del Pacífico colombiano y el índice El Niño 1+2, alcanza el valor de -0.7, mientras que con El Niño 3.4 y El Niño 4 estas correlaciones son considerablemente menores. Por otro lado, también es posible observar que a excepción de El Niño 4, los otros índices, especialmente los índices El Niño 1+2 y El Niño 3, presentan núcleos de correlación muy fuertes al suroeste de la zona de estudio.

### 3.3. Análisis de los modos de variabilidad del MOAE

Se han estudiado las variaciones interanuales del monzón mediante un análisis PCA. Las EOFs rotadas obtenidas son patrones ortogonales en el espacio que pueden ser interpretados como los modos naturales de variabilidad del sistema observado. Los resultados muestran la existencia de tres

modos significativos de variabilidad asociados al índice DNS, con un porcentaje de varianza explicada del 77%.

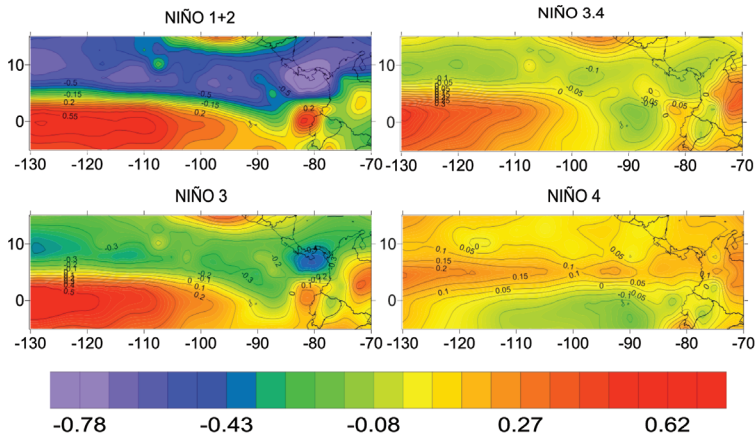


FIG. 4: Mapas de correlación entre las series mensuales del índice DNS, filtradas mediante una media móvil de 12 meses, y los índices de El Niño 1+2, Niño 3.4, Niño 3 y Niño 4, para el periodo de 1950-2010.

La Figura 5 presenta la distribución espacial de los REOFs y sus series temporales asociadas, en escala estacional, para JJA en 850hPa. Las tres primeras componentes rotadas explican el 41.52%, 25.76% y 9.72% de la varianza total de los datos, respectivamente. El primer modo de variabilidad rotado, REOF-1, presenta un fuerte núcleo de correlación sobre la región del Pacífico colombiano, con valores superiores a 0.7, y débiles centros de correlaciones negativas, por debajo de los 2.5° de latitud Sur y entre los 100° y 90° de longitud Oeste. La REOF-2, también presenta un fuerte gradiente de correlación al norte de la zona de estudio, con centros de correlación máxima alrededor de 10°N y entre 110°O y 100°O, siendo este el modo de variabilidad asociado al MOAE. Por último la REOF-3, presenta gradientes de correlación dispersas, entre los 7.5°N y 10°N, con un gran centro de correlación, pudiendo estar relacionada con el monzón del noroeste de México (Mullen *et al.*, 1998). Es interesante notar que las dos regiones en las que el índice DNS promedio toma valores mayores que 0, y que por tanto pueden considerarse asociadas a un régimen monzónico, la relacionada con la BAP y el MOAE, situadas sobre el norte de Colombia y sobre el Pacífico, quedan separadas en el PCA, estando representadas por distintos EOFs (REOF2 y REOF1), de tal forma que pueden considerarse regímenes monzónicos independientes.

3.4. Relación entre el índice DNS y la precipitación

La Figura 6 presenta la distribución espacial de los coeficientes de correlación entre las tres primeras componentes rotadas del índice DNS en 850hPa y en 925 hPa, y las anomalías de precipitación estandarizadas, en escala mensual, para el periodo 1971-2004, en la región del Pacífico colombiano. Se encuentra que la precipitación en la región es particularmente sensible a la variabilidad mensual del índice DNS, para ambos niveles, en general, obteniéndose los mayores centros de correlación localizados en el piedemonte occidental y en la parte costera. La primera componente está fuertemente asociada a la BAP en 850 hPa, con correlaciones negativas significativas en la región noroccidental (específicamente en el centro del departamento del Chocó) y el sureste, mientras que, para la misma componente en 925 hPa, las correlaciones negativas se



extienden por casi toda la región sur, pasando la zona norte a mostrar correlaciones positivas. La 2ª componente principal, asociada al MOAE en 850 hPa, muestra correlaciones positivas en la zona norte, la extensión e intensidad de estas correlaciones aumenta para la 2ª PC en 925 hPa. De forma general se aprecia que las correlaciones a nivel mensual, aunque significativas, no son muy fuertes.

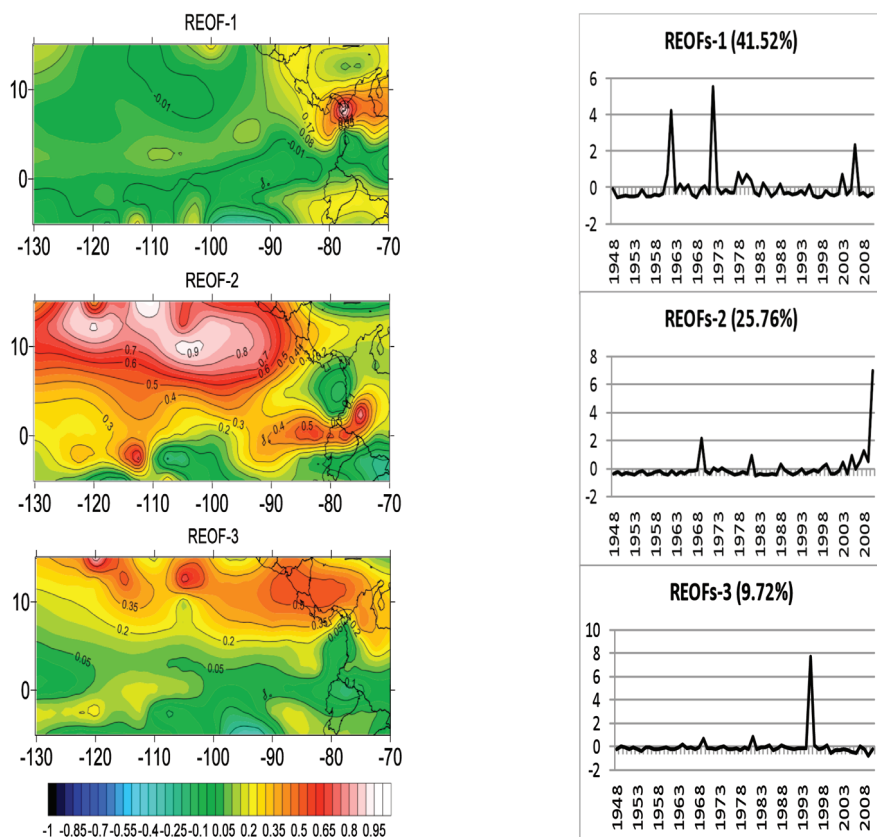


FIG. 5: Factores de carga rotados y series PCs asociadas obtenidos para el índice DNS en 850 hPa, en los meses de JJA.

La Figura 7 presenta la distribución espacial de los coeficientes correlación entre las anomalías de precipitación estandarizadas y los tres primeros modos de variabilidad caracterizados por las correspondientes PCs del índice DNS en 850 hPa y 925 hPa, en la estación de verano. Como puede apreciarse, a nivel interanual, los modos de variabilidad rotados presentan limitado grado de asociación con la precipitación en el Pacífico colombiano. Así, se encuentra que en el nivel de 850 hPa, el primer modo de variabilidad presenta débiles correlaciones negativas en el norte y positivas en el sur. El segundo y tercer modos de variabilidad presentan, en general, correlaciones positivas, siendo destacable las correlaciones positivas encontradas con la 2ª PC rotada, asociada al MOAE, en las regiones más montañosas y en el piedemonte. Por otro lado, para el nivel de 925 hPa, la 1ª y 3ª series PC apenas presentan valores significativos de correlación, siendo la 2ª serie PC, asociada al MOAE, la que presenta los mayores valores de correlación, de nuevo en la zona de piedemonte y montañosa.

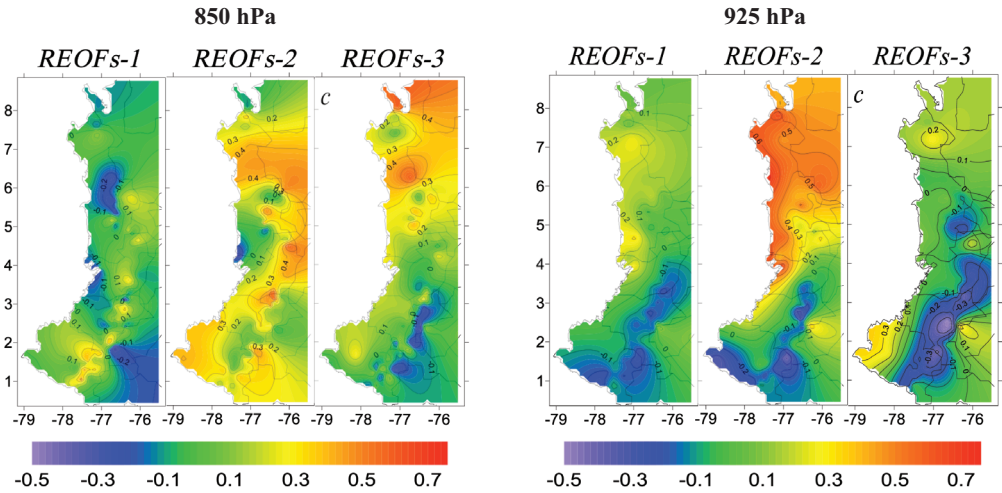


FIG. 6: Distribución espacial de los coeficientes de correlación entre las anomalías de precipitación en el Pacífico colombiano y las tres primeras PCs del índice DNS, en escala mensual, para el periodo 1971-2004, en los niveles de 850 hPa (parte izquierda) y 925 hPa (parte derecha).

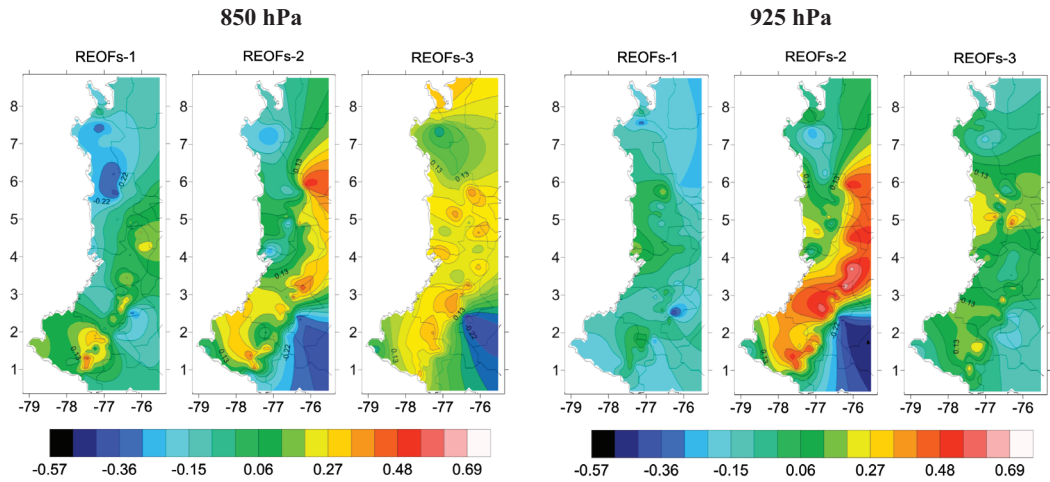


FIG. 7: Distribución espacial de los coeficientes de correlación entre las anomalías de precipitación en el Pacífico colombiano y las tres primeras PCs del índice DNS, para JJA, en el periodo 1971-2004, en los niveles de 850 hPa (parte izquierda) y 925 hPa (parte derecha).

La Figura 8 muestra los promedios de las anomalías de precipitación durante los meses de JJA para valores extremos del índice DNS estandarizado promediado en la región del MOAE, junto con su diferencia. Además se ha realizado un t-test para evaluar la significación estadística de las diferencias de medias entre ambas. Como se puede apreciar, los valores extremos altos del monzón implican aumentos en la precipitación que llegan a superar los 1600 mm en la región del Chocó (lo que representa aproximadamente un 30% más respecto a los valores medios de JJA), siendo superiores a 400 mm para la región costera central y sur. Por otro lado, para eventos débiles del monzón, el déficit en la precipitación en esta región supera los 500 mm, llegando a ser mayor de



1.400 mm en el Chocó. Las diferencias son significativas en toda el área de piedemonte, la costa, y especialmente en la zona montañosa. Por tanto, puede decirse que la influencia del MOAE en la precipitación del Pacífico Colombiano se limita esencialmente a su zona central, y muestra fundamentalmente un impacto no lineal, reflejado, por un lado por los moderados valores de correlación entre la 2ª PC del índice DNS de JJA y las series de precipitación, y por otro, por las diferencias significativas encontradas al comparar los valores promedio de la precipitación para situaciones extremas del MOAE, lo que tiene importantes implicaciones en la aparición de eventos extremos de precipitación.

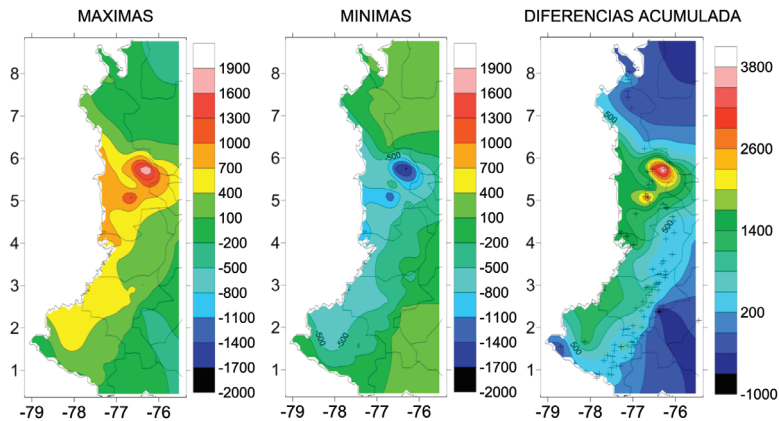


FIG. 8: Valores de las anomalías de precipitación promediadas para valores extremos del índice DNS estandarizado (izquierda: mayores que 1, centro: menores que -1, derecha: diferencia). Los signos + indican dónde la diferencia de medias es significativa al nivel de confianza del 95% según el test t.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han estudiado las principales características del Monzón del Oeste de América ecuatorial (MOAE), componente importante del sistema climático de la región colombiana, intentando delimitar objetivamente su zona de actuación, cuantificando su variabilidad, y en definitiva, ampliando el estado del conocimiento actual, acerca de su dinámica, tendencias a largo plazo y efecto sobre el clima regional. Se encuentra que las variaciones más significativas de los regímenes de rotación entre los vectores del viento de DEF y JJA se enmarcan dentro de la categoría de monzón (valores de ángulo absoluto del vector viento superiores a  $120^\circ$ ) y se presentan en los niveles inferiores (1000, 925 y 850 hPa), mientras que para el nivel de 700 hPa, los ángulos absolutos no superan los  $30^\circ$ . Así pues, se ha confirmado que la región de estudio cumple con la condición de monzón, el cual se presenta en aquellas regiones donde el cambio de la dirección del viento en superficie es de al menos  $120^\circ$  (Khromov, 1978). Igualmente se ha logrado delimitar claramente el MOAE, encontrándose dos núcleos bien definidos, uno sobre la zona del Pacífico occidental ecuatorial y otro en los límites de Colombia y Panamá. Por otro lado el índice DNS, además de delimitar objetivamente la distribución espacial del monzón, también ha permitido caracterizar su variabilidad temporal, atendiendo a diferentes escalas temporales. Los resultados muestran la existencia de valores de cambio abruptos en el MOAE asociados a eventos climáticos extremos el ENSO, encontrándose que no sólo existe una alta correlación temporal entre ambos, sino que además, la señal del MOAE también es capaz de reflejar los patrones asimétricos del fenómeno ENSO. En

cuanto a la variabilidad espacio-temporal del MOAE a nivel interanual, se encuentra que este exhibe fuertes características regionales, coherentes con los patrones regionales de la precipitación estacional en el Pacífico colombiano. Además, los resultados muestran que en determinados períodos se presentan intensificaciones o debilitamientos del monzón, insinuándose un aumento de su variabilidad en los últimos años.

### *Agradecimientos*

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) y la Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH), financian los estudios de Doctorado de R. Palomino y S. Córdoba, en la Universidad de Granada-España.

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto CGL2010-21188/CLI, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y los Fondos FEDER de la Comunidad Europea.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Chao, W.C. (2000). "Multiple quasi-equilibria of the ITCZ and the origin of monsoon onset". *J. Atmos. Sci.*, 57, pp. 641-652.
- Chao, W.C. y Chen, B. (2001a). "Multiple quasi equilibria of the ITCZ and the origin of monsoon onset. Part II: Rotational ITCZ attractors". *J. Atmos. Sci.*, 58, pp. 2820-2831.
- Chao, W.C. y Chen, B. (2001b). On the origin of monsoons. *J. Atmos. Sci.*, 58, pp.3497-3507.
- Charney, J. y Shukla, J. (1981). Predictability of monsoons. Monsoon Dynamics. En: J. Lighthill y R. P. Pearce (Eds.), Cambridge Univ. Press, Chap. 6, pp. 99-110.
- Eslava, J.A. (1994). *Climatología del Pacífico colombiano*. Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. Colección Eratóstenes, No. 1, Santa Fe de Bogotá D.C., pp. 79.
- Herrera, M. y Walschbuerger, T. (1999). El estudio de la biodiversidad regional: Aportes al conocimiento y a la práctica investigativa – Proyecto Biopacífico. Informe final Tomo VI. Ministerio del Medio Ambiente – GEF - PNUD. Bogotá.
- Holton, J.R., (1992). An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press, 511 pp.
- Mesa, O.J.; Poveda, G. y Carvajal, L.F. (1997). Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, pp. 390.
- Mullen, S. L., J. T. Schmitz and N. L. Renno (1998). "Intraseasonal variability of the summer monsoon over southeast Arizona". *Mon. Wea. Rev.* 126, 3016-3035.
- Pabón, J.D. (2003a). Fenómeno El Niño: efectos e impactos en el Pacífico colombiano. En: El Mundo marino de Colombia investigación y desarrollo de territorios olvidados. Red de Estudios del Mundo Marino – REMAR, Universidad Nacional de Colombia, pp. 64-74.
- Pabón, J.; López, W.; Palomino, R. y Córdoba, S. (2010). The study of the presence of a monsoon oscillation in the west of equatorial America. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 29 (1), pp. 133-42.
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cien.*, 28, 107, pp. 201-222.
- Ramage, C.S. (1971). Monsoon Meteorology. Academic Press, New York y London, 296 pp.
- Wallace, J.M. y Hobbs, P.V. (1997). Atmospheric Science. An Introductory Survey. Academic Press. New York, 467 pp.
- Webster, P.J., V. Magafia, T.N. Palmer, J. Shukla, R.A. Tomas, M. Yanai, and T. Yasunari. (1998). Monsoons: Processes, predictability and prospects for prediction. *J. Geophys. Res.*, 103, 14451-14510.